

МИКРОСТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 1570С В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОКАТКИ

Кулицкий В.А.¹, Малофеев С.С.²

Лаборатория механических свойств и наноструктурных материалов, НИУ
БелГУ, ул. Победы 85, Белгород 308015, Россия
E-mail: ¹kulickiy.v@mail.ru, ²malofeev@bsu.edu.ru

Увеличение прочности алюминиевых сплава позволяет повысить их конкурентоспособность и расширить области применения. Известно, что характер зеренной структуры, плотность дислокаций и фазовый состав оказывает существенное влияние на механические свойства сплавов, то есть повышение служебных свойств возможно за счет формирования в металлах определенной структуры и свойств. Самым экономичным методом повышения свойств материала является прокатка с большими степенями обжатия, но для высокопрочных алюминиевых сплавов системы Al-Mg-Sc-Zr этот метод является не технологичным, что связано с высоким пределом текучести и низким ресурсом пластичности данных сплавов. Возможным решением этой проблемы является предварительная подготовка структуры сплавов к последующей прокатке, путем формирования ультрамелкозернистой (УМЗ) микроструктуры методом интенсивной пластической деформации (ИПД). Термомеханическая обработка позволяет повысить технологическую пластичность сплавов, что дает возможность получения проката. Наиболее распространенным методом ИПД для формирования однородной ультрамелкозернистой структуры является равноканальное угловое прессование (РКУП). Однако сведений о влиянии интенсивной пластической деформации методом РКУП с последующей прокаткой на микроструктуру алюминиевых сплавов недостаточно.

Целью данной работы является определить влияние холодной и изотермической прокатки при температуре 300°C со степенью обжатия 80% на микроструктуру и механические свойства сплава 1570С (Al-6,4%, Mg-0,4%Mn-0,2%Sc-0,08%Zr) в ультрамелкозернистом состоянии.

Плита сплава 1570С была подвергнута РКУП при температуре 300°C до истинной степени деформации ~ 12 по маршруту V_{cz} . В результате в сплаве была сформирована однородная равноосная рекристаллизованная микроструктура со средним размером зерен и кристаллитов $\sim 0,9$ и $\sim 0,6$ мкм, соответственно (рис.1а и 1б). Плотность дислокаций составила $\sim 5 \times 10^{13} \text{ м}^{-2}$ (Таблица 1).

В дальнейшем заготовка была подвергнута прокатке при комнатной температуре до степени деформации $\sim 80\%$. Исследования методом EBSD-анализа образца после холодной прокатки показали, что зерна приобрели

вытянутую форму (Рис. 2а), средний размер зерен в продольном направлении составил ~ 1 мкм, а в поперечном около 0,3 мкм. Коэффициент формы равен 3,3. По данным просвечивающей электронной микроскопии средний размер кристаллитов уменьшился до ~ 110 нм. Плотность дислокаций значительно возросла и составила $\sim 6 \times 10^{14} \text{ м}^{-2}$ (Таблица 1).

После изотермической прокатки микроструктура сплава представлена практически равноосными зернами со средним размером $\sim 1,3$ и $\sim 0,9$ мкм в продольном и поперечном направлениях, соответственно (Рис.2б). Размер кристаллитов, по сравнению с образцом после РКУП, уменьшился до ~ 520 нм. Плотность дислокаций незначительно возросла и составила $\sim 7 \times 10^{13} \text{ м}^{-2}$ (Таблица 2).

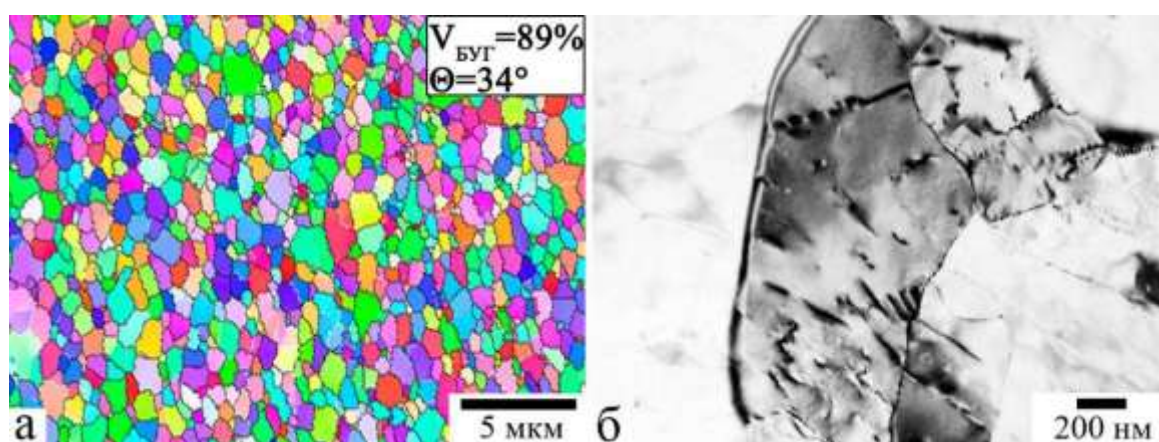


Рис.1. Микроструктура сплава 1570С в УМЗ состоянии: а - карта ориентировок; б – ПЭМ. На EBSD-карте малоугловые и высокоугловые границы показаны белыми и черными линиями, соответственно.

Таблица 1

Влияние РКУП и холодной прокатки на микроструктуру сплава 01570-С

Состояние	$d_{\text{зерен}}^*$, мкм	К	$d_{\text{кристалл}}$, нм	ρ , м^{-2}	Θ , °	$V_{\text{БУГ}}$, %
РКУП $\varepsilon \sim 12$	0,9	-	600	5×10^{13}	38	93
РКУП $\varepsilon \sim 12 + \text{ХП-80\%}$	1/0,3	3,3	110	6×10^{14}	34	85
РКУП $\varepsilon \sim 12 + \text{ИП-80\%}$	1,3/0,9	1,4	520	7×10^{13}	34	84

*Числитель и знаменатель соответствуют продольному и поперечному направлениям, соответственно.

Механические испытания образцов при комнатной температуре показали, что в результате холодной прокатки предел текучести значительно возрастает на 200 МПа, тогда как предел прочности – на 155 МПа. Схожим образом изменяется и микротвердость. Холодная прокатка РКУП-образцов снижает пластичность сплава в 8 раз. В результате изотермической прокатки значения параметров прочности возросли незначительно (Таблица 2), однако пластичность уменьшилась практически в 3 раза.

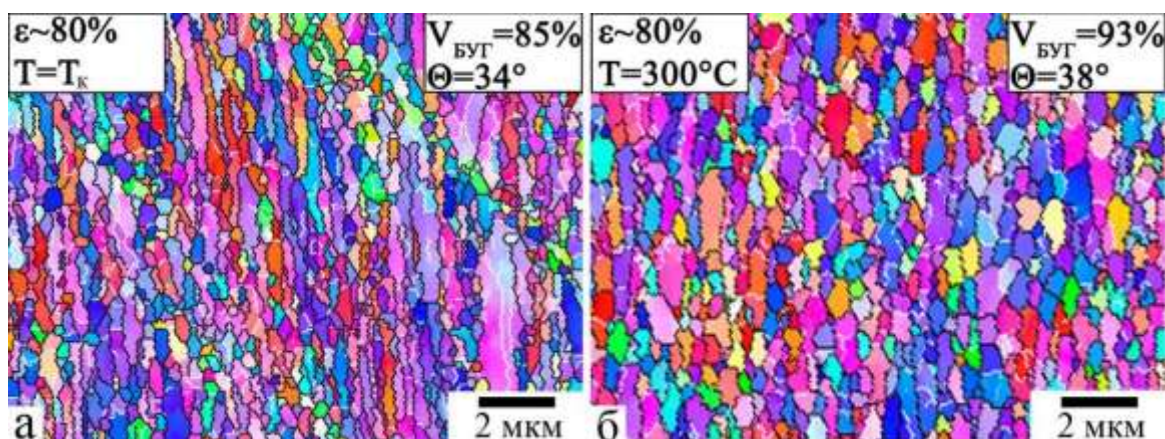


Рис.2. Карты ориентировок сплава 1570С после а) холодной и б) изотермической прокатки со степенью обжатия 80%. Малоугловые и высокоугловые границы показаны белыми и черными линиями, соответственно.

Таблица 2

Влияние РКУП и холодной прокатки на механические свойства сплава 01570-С

Состояние	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	НВ 0,1
РКУП $\varepsilon \sim 12$	355	420	28	128
РКУП $\varepsilon \sim 12$ +ХП 80%	555	575	3,5	169
РКУП $\varepsilon \sim 12$ +ИП 80%	370	430	10,5	129

Выводы:

1. Холодная прокатка ультрамелкозернистого сплава позволяет дополнительно измельчить микроструктуру, средний размер зерен и кристаллитов (по сравнению с РКУП) уменьшается в три и шесть раз, соответственно. Также холодная прокатка приводит к значительному возрастанию плотности дислокаций. Холоднокатаные УМЗ-листы демонстрируют высокие показатели статической прочности (предел текучести составил ~ 555 МПа, предел прочности ~ 575 МПа).

2. После изотермической прокатки не происходит значительных изменений в микроструктуре сплава. Прочностные свойства меняются слабо (предел текучести составил ~ 370 МПа, предел прочности ~ 430 МПа), но пластичность сокращается практически в 3 раза

3. Существенное возрастание прочности сплава в большей степени связано с увеличением плотности дислокаций и в меньшей с уменьшением размера зерен. Однако измельчение зерна является необходимым условием для сохранения достаточной пластичности этого материала.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП НИУ «БелГУ» при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, государственный контракт № 14.А18.21.0760.